



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 197 47 753 C 1

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 B 7/30**  
G 01 D 1/16

②① Aktenzeichen: 197 47 753.4-42  
②② Anmeldetag: 29. 10. 97  
④③ Offenlegungstag: -  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 12. 5. 99

DE 197 47 753 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Ruf Electronics GmbH, 85635  
Höhenkirchen-Siegersbrunn, DE

⑦④ Vertreter:  
von Bülow, T.,  
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr. rer. pol., Pat.-Anw.,  
81545 München

⑦② Erfinder:  
Schödlbauer, Dieter, Dr., 81825 München, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 1 95 48 385 A1  
DE 1 95 39 134 A1

⑤④ Verfahren zum Ermitteln des Phasenwinkels bei Positionsgebern mit sinusförmigen Ausgangssignalen

⑤⑦ Das Verfahren zum Ermitteln des Phasenwinkels bei Positionsgebern mit sinusförmigen Ausgangssignalen verwendet einen Sensor, der ein sinusförmiges Signal  $U_0(\alpha) = A \sin \alpha$  und ein cosinusförmiges Signal  $U_1(\alpha) = A \cos \alpha$  erzeugt. Es werden Linearkombinationen  $U_2 = U_0 + U_1$  und  $U_3 = U_0 - U_1$  gebildet und durch Untersuchung der Vorzeichen dieser Signale wird in einem einschrittigen, binären Code  $q_1 q_0$  der Quadrant bestimmt. In Abhängigkeit von dem Quadranten wird eine Division  $U_2/U_1$  oder  $U_3/U_0$  durchgeführt. Das Ergebnis der Division dient als Adresse zum Abfragen einer gespeicherten Winkeltabelle. Als erstes werden die analogen Spursignale  $U_0, U_1$  in digitale Signale umgewandelt und alle weiteren Rechenoperationen erfolgen rein digital. Bei der Ganzzahldivision ist der Dividend eine der Linearkombinationen ( $U_2$ ) und der Divisor in Abhängigkeit vom ermittelten Quadranten entweder das sinus- oder das cosinusförmige Spursignal. Der Betrag des Divisors liegt dabei stets im Bereich oberhalb von  $\sqrt{2}/2$  des Maximalwertes des jeweiligen Spursignales.

DE 197 47 753 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Ermitteln des Phasenwinkels bei Positionsgebern mit sinusförmigen Ausgangssignalen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

- 5 Ein derartiges Verfahren ist aus der DE 195 39 134 A1 bekannt. Ein Sensor erzeugt ein sinusförmiges und cosinusförmiges elektrisches Ausgangssignal in Abhängigkeit von der relativen Drehstellung bzw. der relativen Lage des Positionsgebers. Beispielsweise können auf einem Gegenstand dessen Drehstellung oder Lage ermittelt werden soll, eine oder mehrere Spuren magnetisierter Inkremente aufgebracht sein, denen gegenüberliegend der Sensor angeordnet ist, der bei diesem Beispiel ein Magnetsensor ist. Aus diesen Sinus- und Cosinus-Signalen werden die Linearkombinationen

- 10 Sinus ( $\alpha$ ) + Cosinus ( $\alpha$ ) und  
Sinus ( $\alpha$ ) - Cosinus ( $\alpha$ )

- 15 gebildet, wobei die dabei entstehenden Signale ebenfalls ein sinus- und ein cosinusförmiges Signal sind, die jedoch gegenüber den ursprünglichen Signalen um  $45^\circ$  phasenverschoben sind und deren Amplitude das  $\sqrt{2}$ -fache der Grundsignale ist. Durch Untersuchung des Vorzeichens der Sinus- und Cosinus-Signale wird der jeweilige Quadrant ermittelt. In Abhängigkeit von diesem Quadranten wird entweder die Arcustangensfunktion oder die Arcuscotangensfunktion gebildet, um den Lagewert ( $\alpha$ ) zu ermitteln. Die Bildung der Tangens- und Cotangensfunktion erfolgt mittels sukzessiver Approximation zweier Analogspannungswerte. Die zentrale Rechenoperation ist dabei eine Multiplikation mit einem Analog/Digital-Wandler. Im mathematischen Sinne wird dabei eine vom Phasenwinkel  $\alpha$  abhängige Zahl zwischen 0 und 1 auf den Wertevorrat des A/D-Wandlers abgebildet, mit deren Hilfe sich der gesuchte Phasenwinkel bzw. Lagewert  $\alpha$  über eine Winkeltabelle bestimmen läßt.

- 20 Nachteilig an diesem sukzessiven Approximationsverfahren ist, daß die abgetasteten Analog-Signale während der gesamten Approximationsdauer zur Verfügung stehen müssen und in diesem Zeitraum konstant sein müssen. Dies bedingt einen hohen Aufwand für Stabilität der Analog-Bausteine, was insbesondere hinsichtlich Temperaturfehlern problematisch ist.

- Ein weiteres Problem bei dem bekannten Verfahren liegt darin, daß während der Lebensdauer des Positionsgebers die Ausgangssignale des Sensors schwächer werden können, beispielsweise weil die Magnetisierung der abgetasteten Spuren schwächer wird, und damit die Amplitude der abgetasteten Signale sinkt. Durch die Quotientenbildung bei der Tangens- bzw. Cotangensfunktion kürzt sich ein Amplitudenfehler zwar theoretisch heraus. In der Praxis können aber die abgetasteten Signale so schwach werden, daß eine zuverlässige Bestimmung des Phasenwinkels bzw. des Lagewertes  $\alpha$  nicht mehr möglich ist. Bei dem bekannten Verfahren kann ein solcher Fehler praktisch nicht erkannt werden, allenfalls dann, wenn überhaupt kein Meßwert mehr ausgegeben wird.

- 35 Die DE 195 48 385 A1 beschreibt ein Verfahren zum Ermitteln des Phasenwinkels bei Positionsgebern mit sinusförmigen Ausgangssignalen, bei dem die Ausgangssignale in Analog-Digital-Wandlern umgewandelt werden und alle Rechenoperationen rein digital ausgeführt werden.

- Aufgabe der Erfindung ist es, das eingangs genannte Verfahren dahingehend weiter zu entwickeln, daß es bei verringertem Aufwand für elektronische Bauteile langzeitstabil hochgenaue Meßergebnisse liefert und zusätzlich eine Eigendiagnosemöglichkeit bietet, mit der die Qualität der gemessenen Werte beurteilt werden kann.

- 40 Diese Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

- Ein erster wichtiger Aspekt der Erfindung besteht darin, daß die analogen Ausgangssignale des Sensors Abtast- und Halteschaltkreisen zugeführt, dort taktweise zwischengespeichert und unmittelbar darauf durch je einen Analog-/Digitalwandler in digitale Werte umgewandelt werden. Diese digitalen Werte werden gespeichert und stehen für die weiteren Rechenoperationen als "konstante" Werte zur Verfügung, unabhängig davon, ob die Abtast- und Halteschaltkreise den gespeicherten analogen Wert stabil halten oder nicht. Die gesamte weitere Signalverarbeitung erfolgt ausschließlich digital.

- 50 Ein weiterer wichtiger Aspekt der Erfindung liegt darin, daß die Ermittlung der jeweiligen Quadranten, in denen sich die Sensorsignale befinden, in einem einschrittigen Code erfolgt, wodurch Instabilitäten an den Quadrantengrenzen vermieden werden.

- Noch ein weiterer wichtiger Aspekt der Erfindung liegt darin, daß – im Gegensatz zum Stand der Technik – nicht mehr eine approximative Multiplikation durchgeführt, sondern eine effektive Ganzzahldivision, wodurch die Zykluszeiten kurz gehalten werden. Für diese Division sieht die Erfindung vor, daß der Divisor nur aus bestimmten Abschnitten der abgetasteten Spursignale ausgewählt wird, und zwar aus solchen, in denen das auf 1 normierte Spursignal zwischen ca. 0,7 und 1 liegt. Eine Division durch sehr kleine Zahlenwerte entfällt daher, was die Rechengenauigkeit erhöht. Zusätzlich läßt sich dadurch, daß der Absolutwert des Divisors bei einwandfrei arbeitender Meßanordnung nur innerhalb relativ enger Grenzen schwanken kann, eine Möglichkeit zur Eigendiagnose schaffen.

- 60 Dies erfolgt nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung dadurch, daß der Absolutwert des Divisors mit einem fest vorgegebenen Schwellwert verglichen wird. Liegt der Absolutwert des Divisors unter diesem vorgegebenen Schwellwert, lassen sich daraus Rückschlüsse über die Qualität des Meßergebnisses ziehen und z. B. eine Vorhersage über einen zukünftigen Ausfall der Meßanordnung treffen.

- Nach einer Weiterbildung der Erfindung wird, wenn das Spursignal in der Nähe einer Quadrantengrenze liegt und die Vorzeichen (Signum-Funktion) von Divisor und Dividend verschieden sind, was ein Anzeichen für fehlerhafte Spursignale ist, der ausgegebene Meßwert zwangsweise auf die Quadrantengrenze gesetzt, wodurch auch im kritischen Bereich der Quadrantengrenzen sehr genaue Meßergebnisse erhalten werden und keine Abfrage der Winkeltabelle erfolgt.

- 65 Prinzipiell arbeitet das erfindungsgemäße Verfahren so, daß der jeweilige Phasenwinkel oder Lagewert  $\alpha$  als "Offset"-Wert gegenüber der vorangehenden Quadrantengrenze bestimmt wird. Der Wertebereich der Winkeltabelle ist dabei  $0^\circ$

bis 90°. Auch ist es möglich, den Phasenwinkel oder Lagewert  $\alpha$  als Offset- bzw. Abstand zur nächstgelegenen Quadrantengrenze zu bestimmen, wodurch der Wertebereich der Winkeltabelle auf 0° bis 45° halbiert werden kann.

Grundsätzlich ist noch darauf hinzuweisen, daß das Verfahren nach der Erfindung unabhängig von der primären Quelle der Spursignale ist und nicht auf magnetisch erzeugte Spursignale beschränkt ist.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit der Zeichnung ausführlicher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 den Verlauf der Spursignale sowie weiterer rechnerisch ermittelter Signale in Abhängigkeit vom Phasenwinkel bzw. Lagewert  $\alpha$ ;

Fig. 2 ein Diagramm ähnlich Fig. 1 mit dem Verlauf von Dividend und Divisor bei der Quotientenbildung mit Betragsschwellen zu Diagnosezwecken;

Fig. 3 ein Diagramm eines berechneten Lagewertes;

Fig. 4 eine Winkeltabelle für einen Quadranten; und

Fig. 5 ein Blockschaltbild mit Ablaufdiagramm zur Erläuterung des Verfahrens nach der Erfindung.

#### Verwendete Formeln und Abkürzungen:

$\alpha$ : Phasenwinkel  $0 \leq \alpha \leq 2\pi$

$U_i$ : Signalspannungswerte mit Indices  $0 \leq i \leq 3$

A: Amplitude der Spursignale

$\Phi(x)$ : Sprungfunktion

$\Phi(x) = 0$  für  $x \leq 0$

$\Phi(x) = 1$  für  $x > 0$

$q_0, q_1$ : LSB und MSB des Quadranten

$q(\alpha)$ : Nummer des Quadranten innerhalb einer Signalperiode,  $0 \leq q \leq 3$

adresse( $\alpha$ ): je nach Quadrant wechselnde Winkelfunktion mit der Bitbreite des A/D-Wandlers; dient zur Adressierung der Winkeltabelle über einen Quadranten, in binärer Darstellung mit Bits  $z_n$ ,  $0 \leq n \leq \text{Bitbreite}(A/D)-1$

datum( $\alpha$ ): Das zu einer Adresse der Winkeltabelle gehörige Datum

$D_n(\alpha)$ : Datenbit n des Datums,  $0 \leq n \leq \text{Bitbreite}(A/D)-1$

$\Phi(\alpha)$ : Berechneter Lagewert (Endergebnis);  $0 \leq \Phi(\alpha) \leq 2^{\text{Bitbreite}(A/D)+2}-1$

Fig. 1 zeigt den Verlauf der sinus- und cosinusförmigen Spursignale in Abhängigkeit vom Lagewert  $\alpha$ , also

$$U_0(\alpha) = A * \sin(\alpha) \text{ Spursignal "Sinus" } (1)$$

$$U_1(\alpha) = A * \cos(\alpha) \text{ Spursignal "Cosinus" } (2)$$

Diese Meßwerte können bedingt durch die Analog-/Digital-Wandlung zunächst einen (positiven) Offset von der Größe der halben Referenzspannung aufweisen. Nach einer entsprechenden Subtraktion entstehen die gewünschten, vorzeichenbehafteten Eingangswerte, wobei 1 Bit der Auflösung als Vorzeichenbit verlorenggeht. Aus diesen Spursignalen werden die im Verlauf der Auswertung zusätzlich benötigten Linearkombinationen

$$U_2(\alpha) = U_1(\alpha) + U_0(\alpha) = A(\cos(\alpha) + \sin(\alpha)) (3)$$

$$U_3(\alpha) = U_1(\alpha) - U_0(\alpha) = A(\cos(\alpha) - \sin(\alpha)) (4)$$

durch Addition bzw. Subtraktion gebildet, deren Kurven ebenfalls sinusförmig mit einer Phasenverschiebung von +45° und einer  $\sqrt{2}$ -fachen Amplitude gegenüber den Spursignalen verlaufen.

Aus diesen Linearkombinationen werden die Sprungfunktionen

$$q_0(\alpha) = \Phi[U_2(\alpha)] (5)$$

$$q_1(\alpha) = \Phi[U_3(\alpha)] (6)$$

$$q(\alpha) = q_0(\alpha) + 2 * q_1(\alpha) (7)$$

gebildet, die mathematisch gesehen die Signumfunktion, also das Vorzeichen darstellen. Diese Sprungfunktionen werden jeweils durch Prüfen auf "0" realisiert mit:

$$U_2(\alpha) > 0 \rightarrow q_0(\alpha) = 1$$

$$U_2(\alpha) \leq 0 \rightarrow q_0(\alpha) = 0$$

$$U_3(\alpha) > 0 \rightarrow q_1(\alpha) = 1$$

$$U_3(\alpha) \leq 0 \rightarrow q_1(\alpha) = 0$$

Daraus ergibt sich ein einschrittiger 2-Bit-Code  $q_1, q_2$  für die Abfolge der Quadranten. Dieser Code ist ähnlich dem Gray-Code einschrittig, d. h. bei Wechsel zum nächstfolgendem Quadrantenwert ändert sich immer nur 1 Bit. Allerdings liegt dieser Code q noch nicht in der gewünschten, monotonen Form vor. In dezimaler Darstellung stellt er sich als

1, 0, 2, 3 usw. anstelle von 0, 1, 2, 3 usw.

# DE 197 47 753 C 1

dar. Bei der Umrechnung in das endgültige "echte" Binärmuster  $q_1 q_0$ , gilt die folgende Funktionstabelle für  $q_0$ :

		$q_1$	
$q_0$		0	1
	0	0	1
	1	1	0

d. h.  $q_0 = \overline{q_0} \text{ EXOR } q_1$

Für  $q_1$  ist keine Umrechnung notwendig. Es gilt:

		$q_1$	
$q_0$		0	1
	0	0	1
	1	0	1

d. h.  $q_1 = q_1$

Das Ergebnis dieser Umrechnung ist in Fig. 1 mit der stark durchgezogenen Linie  $q_i$  dargestellt. Die anschließende Quotientenbildung für die Adressierung einer Winkeltabelle erfolgt mit dem

$$\text{dividend}(\alpha) = U_2(\alpha) \quad (8)$$

und je nach Quadrant mit unterschiedlichem Divisor, nämlich

$$\text{divisor}(\alpha) = U_0(\alpha) \text{ wenn } q_0(\alpha) = 0 \quad (9a)$$

$$\text{divisor}(\alpha) = U_1(\alpha) \text{ wenn } q_0(\alpha) = 1 \quad (9b).$$

Der Zusammenhang zwischen den Quadranten 0 bis 3, dem Phasen- oder Lagewinkel  $\alpha$  und dem Quotienten  $f(\alpha)$  ergibt sich aus folgender Tabelle:

Quad- rant Nr.	Phasenwinkel $\alpha$	Quotient ( $\alpha$ )	Wertebereich von $f(\alpha)$
0	$45^\circ \leq \alpha < 135^\circ$	$\cot(\alpha) + 1$	$2 \geq f(\alpha) > 0$
1	$135^\circ \leq \alpha < 225^\circ$	$\tan(\alpha) + 1$	$0 \leq f(\alpha) < 2$
2	$225^\circ \leq \alpha < 315^\circ$	$\cot(\alpha) + 1$	$2 \geq f(\alpha) > 0$
3	$315^\circ \leq \alpha < 45^\circ$	$\tan(\alpha) + 1$	$0 \leq f(\alpha) < 2$

Dividend ist also immer die in Fig. 2 dargestellte Linearkombination  $U_2$  aus der Summe der beiden Spursignale. Divisor ist dagegen abwechselnd das sinus- oder cosinusförmige Signal  $U_1$  oder  $U_2$ . Die entsprechenden Abschnitte dieser Spursignale, die den Divisor bilden, sind in Fig. 1 mit dickeren durchgezogenen Linien angegeben. Daraus ist zu erkennen, daß der Wertebereich der auf 1 normierten Spursignale betragsmäßig nur zwischen  $\sin(45^\circ) \approx 0,71$  und 1 liegen kann. Wie noch detaillierter aus Fig. 2 hervorgeht, ist es daher möglich, für den Betrag des Divisorsignals eine oder mehrere Schwellwerte für Diagnosezwecke zu definieren. Innerhalb eines Quadranten ändert sich der Betrag des Divisors maximal um  $-(\sqrt{2}-1)/\sqrt{2} \approx -29\%$  der Amplitude. Auf diese Weise können die Signalamplituden ohne aufwendige, d. h. zeitintensive Numerik überwacht werden. Der Betrag ergibt sich einfach durch Maskierung des Vorzeichenbits. Beispielsweise kann die in Fig. 2 eingezeichnete erste Schwelle 1 als obere Warngrenze dienen, während die Signalpegel unterhalb der Schwelle 2 als Systemausfall erkannt werden können. Durch weitere, nicht eingezeichnete Schwellwerte kann noch genauer erkannt werden, ob die Amplitude der Spursignale schon nahe einem Systemausfall ist.

# DE 197 47 753 C 1

Weiter ist aus Fig. 1 und 2 zu erkennen, daß Dividend und Divisor bei einwandfrei funktionierendem System stets dasselbe Vorzeichen haben müssen. Dies setzt natürlich voraus, daß die Phasenlage aller Signale exakt stimmt und auch keine unerwünschten Offset-Spannungen auftreten. An Quadrantengrenzen kann es aber in der Praxis vorkommen, daß das eine Signal schon sein Vorzeichen gewechselt hat, das andere aber noch nicht. In diesem Falle wird unabhängig vom Wert des Dividend und des Divisors festgelegt, daß der Lagewert  $\alpha$  auf der Quadrantengrenze liegt. Für die Adressierung der Winkeltabelle gilt in diesem Falle

$$\text{adresse}(\alpha) = 0 \text{ wenn } \text{sign}(\text{dividend}) \neq \text{sig}(\text{divisor}) \quad (10a)$$

ansonsten gilt:

$$\text{Adresse}(\alpha) = 2^{(\text{Bitbreite}(A/D) - 1)} \cdot \frac{\text{dividend}(\alpha)}{\text{divisor}(\alpha)}$$

$$\text{wenn } \text{sign}(\text{dividend}) = \text{sign}(\text{divisor}) \quad (10b)$$

Die Berechnung der Adresse für die Winkeltabelle gemäß der vorgenannten Gleichung erfolgt durch sukzessives Bestimmen der Adreßbits  $z_n$  mit Hilfe folgender Gleichung:

$$\sum_{n=0}^{\text{Bitbr}(A/D)-1} z_n(\alpha) \cdot (\text{divisor}(\alpha) \cdot 2^n) = \text{dividend}(\alpha) \cdot 2^{\text{Bitbr}(A/D)-1}$$

(11)

wobei die Rechenoperation  $\cdot 2^i$  durch Verschieben um  $i$  Stellen nach links ausgeführt wird.

Damit ist dann eine Adresse für das Auslesen des Lagewertes  $\text{Datum}(\alpha)$  aus einer Winkeltabelle bestimmt. Der Inhalt dieser Winkeltabelle ist, gerundet auf ganze Zahlen:

$$\text{datum}(\alpha) = 2^{\text{Bitbr}(A/D)} \cdot \left[ \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cdot \arctan\left(\frac{2}{2^{\text{Bitbr}(A/D)}} \cdot \text{adresse}(\alpha) - 1\right) \right]$$

(mit  $\text{Bitbr} = \text{Bitbreite}$ )

(12)

Im ersten und dritten Quadranten ( $q_0 = 0$ ) wird das ausgelesene Datum durch sein Einserkomplement ersetzt.

$$\text{datum}(\alpha) = \overline{\text{datum}(\alpha)} \text{ wenn } q_0(\alpha) = 0 \quad (13a)$$

$$\text{datum}(\alpha) = \text{datum}(\alpha) \text{ wenn } q_0(\alpha) = 1 \quad (13b)$$

Als Endergebnis erhält man:

$$\Phi(\alpha) = \text{Datum}(\alpha) + q_0(\alpha) \cdot 2^{\text{Bitbreite}(A/D)} + q_1(\alpha) \cdot 2^{\text{Bitbreite}(A/D)+1} \quad (14)$$

d. h. das Ergebnis ist von der Form

MSB  $q_1$ ,  $q_0$ ,  $D_{N-1}$  .....  $D_0$  LSB

MSB	$q_1$	$q_0$	$D_{N-1}$ ..... $D_0$	LSB
-----	-------	-------	-----------------------	-----

 $D_{N-1}$  bis  $D_0$ : Feinauflösung innerhalb des Quadranten $q_1$   $q_0$  mit N Bit

$q_1$   $q_0$  : Nummer des Quadranten, wobei MSB das "most significant bit", also das Bit mit der höchsten Wertigkeit und LSB das "lowest significant bit", also das Bit mit der geringsten Wertigkeit ist.

An dem ausgegebenen Format ist auch zu erkennen, daß die beiden höchstwertigen Bits  $q_1$  und  $q_0$  den jeweiligen Quadranten bestimmen und die aus der Winkeltabelle entnommenen Werte nur noch die Feinauflösung innerhalb des Quadranten bzw. den Versatz oder Offset gegenüber der vorangehenden Quadrantengrenze bestimmen.

Fig. 2 zeigt noch einmal den Verlauf des Divisors und des Dividenden sowie die beiden Schwellen 1 und 2, die die Eigendiagnose ermöglichen.

Fig. 3 zeigt den Verlauf des berechneten Lagewertes bei einer Auflösung von 8 Bit.

Fig. 4 zeigt ein Beispiel einer Winkeltabelle für einen Quadranten mit einer Auflösung von 6 Bit. Die für den berechneten Lagewert der Fig. 3 benötigten zwei weiteren Bits sind die Bits  $q_1$  und  $q_0$ , die den jeweiligen Quadranten bestimmen. Die Winkeltabelle muß damit nur Werte für einen Quadranten enthalten. Die Verwendung einer Winkeltabelle hat den Vorteil, daß sie deutlich schneller ist als ein Rechnen der Arcustangens- oder Arcuscotangensfunktion. Im dargestellten Ausführungsbeispiel hat die Winkeltabelle die Breite eines vollen Quadranten, also  $90^\circ$ . Es wäre aber auch möglich, der Winkeltabelle nur eine Breite von  $45^\circ$  zu geben und dann den Wert nicht zur vorhergehenden Quadrantengrenze sondern zur nächst gelegenen Quadrantengrenze zu bestimmen.

Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild mit Ablaufdiagramm zur Durchführung des Verfahrens nach der Erfindung. Die Eingangssignale  $U_0$  und  $U_1$  werden von nicht dargestellten Sensoren (z. B. Magnetfeldsensoren) erzeugt. Die beiden Signale  $U_0$  und  $U_1$  werden in je einer Abtast- und Halteschaltung 1 und 2 taktweise abgefragt und zwischengespeichert und unmittelbar darauf folgend in je einem Analog-Digital-Wandler 3 bzw. 4 in ein digitales Signal umgewandelt und als digitales Signal gespeichert. Der A/D-Umwandlungsvorgang geht sehr schnell vor sich, so daß die Abtast- und Halteschaltkreise 1 und 2 keine Langzeitstabilität haben müssen. Das gesamte weitere Verfahren läuft dann rein digital ab. An die beiden A/D-Wandler 3 und 4 sind ein Addierer 5 und ein Subtrahierer 6 angeschlossen, die die Linearkombinationen  $U_2 = U_0 + U_1$  bzw.  $U_3 = U_1 - U_0$  bilden. In zwei Schwellwertschaltkreisen 7 und 8 wird überprüft, ob die Signale  $U_2$  bzw.  $U_3$  größer oder kleiner gleich 0 sind, womit gemäß den obigen Gleichungen (5) und (6) die Signale  $q_0$  und  $q_1$  für die Bestimmung des Quadranten gebildet werden.

Sodann läuft das eigentliche Verfahren mit einem Startsignal 9 an. In einem Block 10 erfolgt die Umrechnung des Signales  $q_0$ , um die gewünschte monotone Form des einschrittigen Codes für das Binärmuster  $q_1$   $q_2$  zu erhalten, das auch in Fig. 1 dargestellt ist. In einem Block 11, dem die Signale  $U_0$ ,  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $q_0$  und  $q_1$  zugeführt werden, wird die Division vorbereitet. Hierzu wird überprüft, ob  $q_0$  gleich 0 oder ungleich 0 ist. Ist  $q_0$  gleich 0, so wird als Divisor das Spursignal  $U_0$  ausgewählt, ist  $q_0$  ungleich 0, so ist der Divisor  $U_1$ . In beiden Fällen ist der Dividend stets die Funktion  $U_2$ .

In einem Block 12 wird überprüft, ob der Divisor größer oder kleiner als die Schwelle 2 (Fig. 2) ist. Ist der Divisor kleiner als die Schwelle 2, so sind die Spursignale  $U_0$  und/oder  $U_1$  zu klein und in Block 13 erfolgt die Ausgabe einer Fehlermeldung und der weitere Rechenvorgang wird im Block 14 abgebrochen. Hierdurch kann mit einer einfachen Schwellwertabfrage eine Eigendiagnose durchgeführt werden. In einem optionalen Block 15 können weitere Fehler überprüft werden, beispielsweise ob andere Schwellwerte wie die Schwelle 1 über- oder unterschritten sind.

In einem weiteren Block 16 wird dann überprüft, ob die Vorzeichen von Dividend und Divisor gleich oder ungleich sind. Wie aus Fig. 2 zu erkennen ist, müssen bei exakten Signalen Divisor und Dividend gleiches Vorzeichen haben. An den Quadrantengrenzen zwischen Quadrant 0 und Quadrant 1 sowie zwischen Quadrant 2 und Quadrant 3 wechseln Divisor und Dividend ihr Vorzeichen. Dabei kann aber durch geringfügigste Phasen- oder Nullpunktverschiebungen eine der beiden Funktionen das Vorzeichen schon gewechselt haben und die andere noch nicht, was je nach Präzision der Schwellwertabfrage 7 und 8 aber noch nicht als Quadrantenwechsel erkannt wurde. Daher ist vorgesehen, daß bei ungleichen Vorzeichen von Dividend und Divisor die Adresse für das Auslesen einer Winkeltabelle 17 auf 0 gesetzt wird, also auf den entsprechenden Quadrantenwechsel, ohne daß die Division durchgeführt wird. Sind die Vorzeichen von Dividend und Divisor dagegen gleich, so wird die Division im Block 16 als Ganzzahldivision durchgeführt gemäß der oben angegebenen Gleichung für den Wert Adresse ( $\alpha$ ). Dieser Wert bzw. die Adresse 0 ist dann der Eingangswert für eine Winkeltabelle 17, in welcher in Abhängigkeit von der Adresse ( $\alpha$ ) ein Winkelwert  $D_0 \dots D_{(N-1)}$  abgespeichert ist.

Da die Winkeltabelle nur Werte eines Quadranten enthält, wird in einem weiteren Block 18 in Abhängigkeit von dem Signal  $q_0$  der ausgelesene Wert der Winkeltabelle ggf. noch transformiert. Ist  $q_0$  gleich 0, so wird das 1er-Komplement des aus der Winkeltabelle ausgelesenen Datum genommen, ansonsten findet keine Veränderung statt. In einem weiteren Block 19 wird dem ausgelesenen Datum noch der Wert des Quadranten mit den Bits  $q_1$  und  $q_0$ , vorangestellt und das Er-

gebnis im angegebenen Format (MSB)  $q_1 q_0 D_{(N-1)} \dots D_0$  (LSB) ausgegeben. Im Block 20 erfolgt dann die Rückkehr und ein neuer Zyklus kann beginnen.

Alle in den Bausteinen 5 bis 8 und den Blöcken 9 bis 20 dargestellten Rechenschritte bzw. logischen Operationen können selbstverständlich von einem programmierten Prozessor durchgeführt werden, dem lediglich die digitalisierten Spursignale aus den A/D-Wandlern 3 und 4 zugeführt werden.

5

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln des Phasenwinkels bei Positionsgebern mit sinusförmigen Ausgangssignalen, wobei ein Sensor in Abhängigkeit von der Lage oder Drehstellung  $\alpha$  das sinusförmige Ausgangssignal  $U_0(\alpha) = A \cdot \sin \alpha$  und ein cosinusförmiges Ausgangssignal  $U_1(\alpha) = A \cdot \cos \alpha$  erzeugt, aus diesen Ausgangssignalen Linearkombinationen  $U_2 = U_0 + U_1$  und  $U_3 = U_1 - U_0$  gebildet werden, durch Untersuchung der Vorzeichen einiger dieser Signale bestimmt wird, in welchem Quadranten der Lagewert  $\alpha$  ist und in Abhängigkeit von dem ermittelten Quadranten eine Division zur Bildung einer Tangensfunktion oder einer Cotangensfunktion durchgeführt wird und schließlich das Ergebnis der Division als Adresse zum Abfragen einer gespeicherten Winkeltabelle verwendet wird, deren Ausgabesignal mindestens die Feinauflösung des Lagewertes  $\alpha$  darstellt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die analogen Ausgangssignale  $U_0, U_1$ , in Analog-/Digital-Wandlern in digitale Signale umgewandelt werden, daß alle weiteren Rechenoperationen rein digital durchgeführt werden, daß die Vorzeichen der digitalisierten Ausgangssignale überprüft und daraus ein einschrüttiger, binärer Code  $q_1 q_0$  gebildet wird, der bestimmt, in welchem Quadranten sich der Lagewert  $\alpha$  befindet, daß zur Vorbereitung einer Ganzzahldivision, bei der der Dividend eine der Linearkombinationen ( $U_2, U_3$ ) ist, als Divisor in Abhängigkeit vom ermittelten Quadranten entweder das sinus- oder das cosinusförmige Ausgangssignal ausgewählt wird, wobei der Betrag des Divisors dabei stets im Bereich oberhalb von  $\sqrt{2}/2$  des Maximalwertes des jeweiligen Ausgangssignales liegt, daß anschließend die Division durchgeführt wird und daß das Ergebnis der Division die Adresse zum Auslesen der Winkeltabelle ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor Durchführung der Division überprüft wird, ob der Betrag des Divisors einen vorgegebenen Schwellwert ( $S_2$ ) unterschreitet und in Abhängigkeit von dieser Überprüfung eine Fehlermeldung ausgegeben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die gespeicherte Winkeltabelle nur Winkelwerte eines Quadranten enthält und daß zur Bildung des Lagewertes  $\alpha$  dem aus der Winkeltabelle ausgelesenen digitalen Wert ( $D_{n-1} \dots D_0$ ) der den jeweiligen Quadranten bestimmende Wert ( $q_1 q_0$ ) vorangestellt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Adresse zum Auslesen der Winkeltabelle auf den Wert "0" gesetzt wird, wenn das Vorzeichen von Dividend und Divisor ungleich sind und daß die Division nur dann durchgeführt wird, wenn die Vorzeichen von Dividend und Divisor gleich sind.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung des Quadranten die Linearkombinationen ( $U_2, U_3$ ) daraufhin überprüft werden, ob ihr Wert größer oder kleiner gleich "0" ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Linearkombination ( $U_2$ ) aus der Summe der beiden Ausgangssignale ( $U_0, U_1$ ) darauf überprüft wird, ob sie größer oder gleich "0" ist und die Linearkombination ( $U_3$ ) aus der Differenz der beiden Ausgangssignale ( $U_0, U_1$ ) darauf überprüft wird, ob sie größer "0" ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung eines monotonen, einschrüttigen Codes für den Quadranten der invertierte Wert der Überprüfung der Linearkombination ( $U_2$ ) aus der Summe der beiden Ausgangssignale EXKLUSIVODER mit dem Wert ( $q_1$ ) der Überprüfung der Linearkombination aus der Differenz der beiden Ausgangssignale ( $U_1 - U_0$ ) verknüpft wird zur Bildung eines digitalen Signales ( $q_0$ ), das das niederrangigere Bit des jeweiligen Quadranten darstellt und daß das Ergebnis der Überprüfung der Linearkombination der Differenz der beiden Ausgangssignale ( $U_1 - U_0$ ) unverändert das höchstwertige Bit zur Bestimmung des jeweiligen Quadranten ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

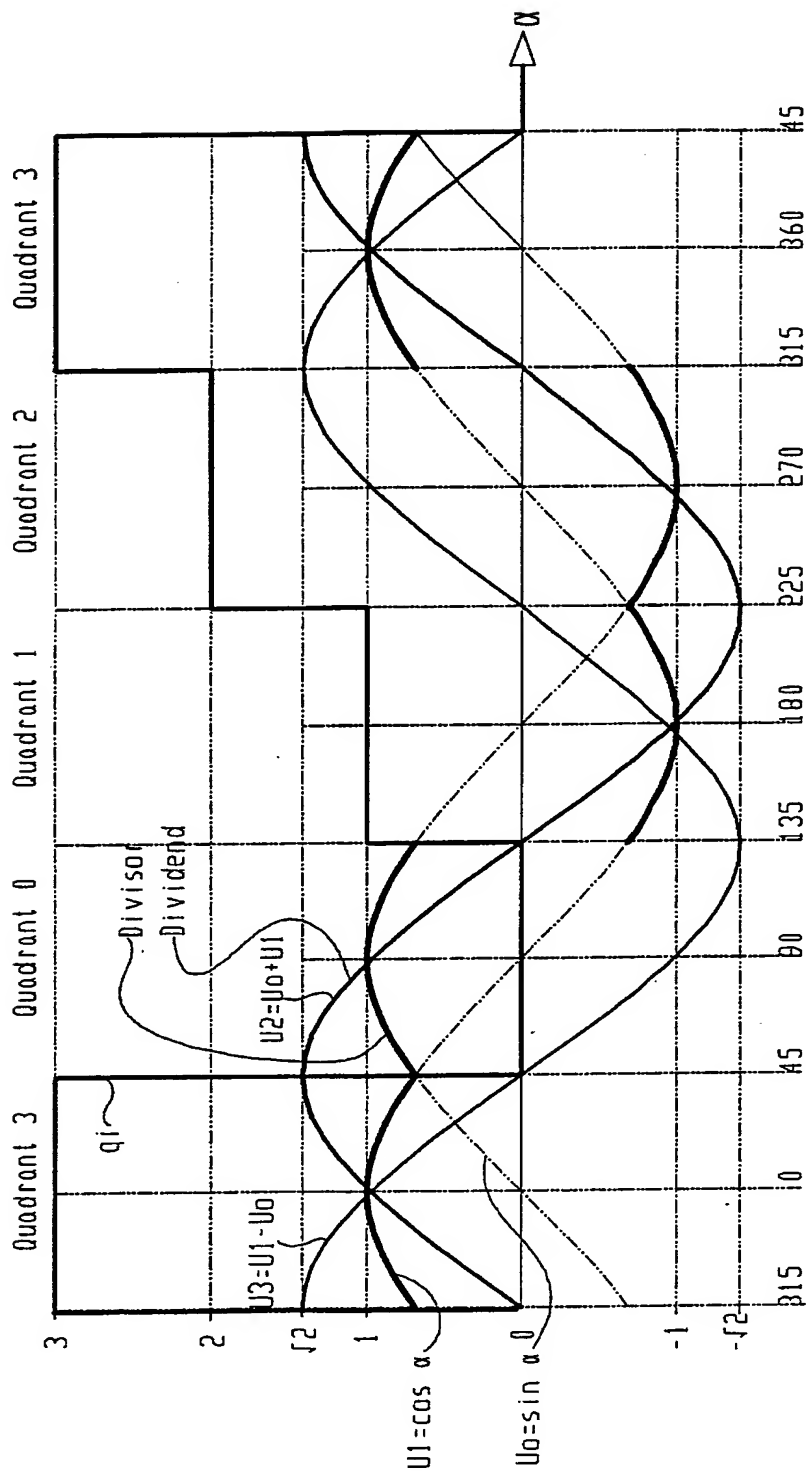


Fig. 1

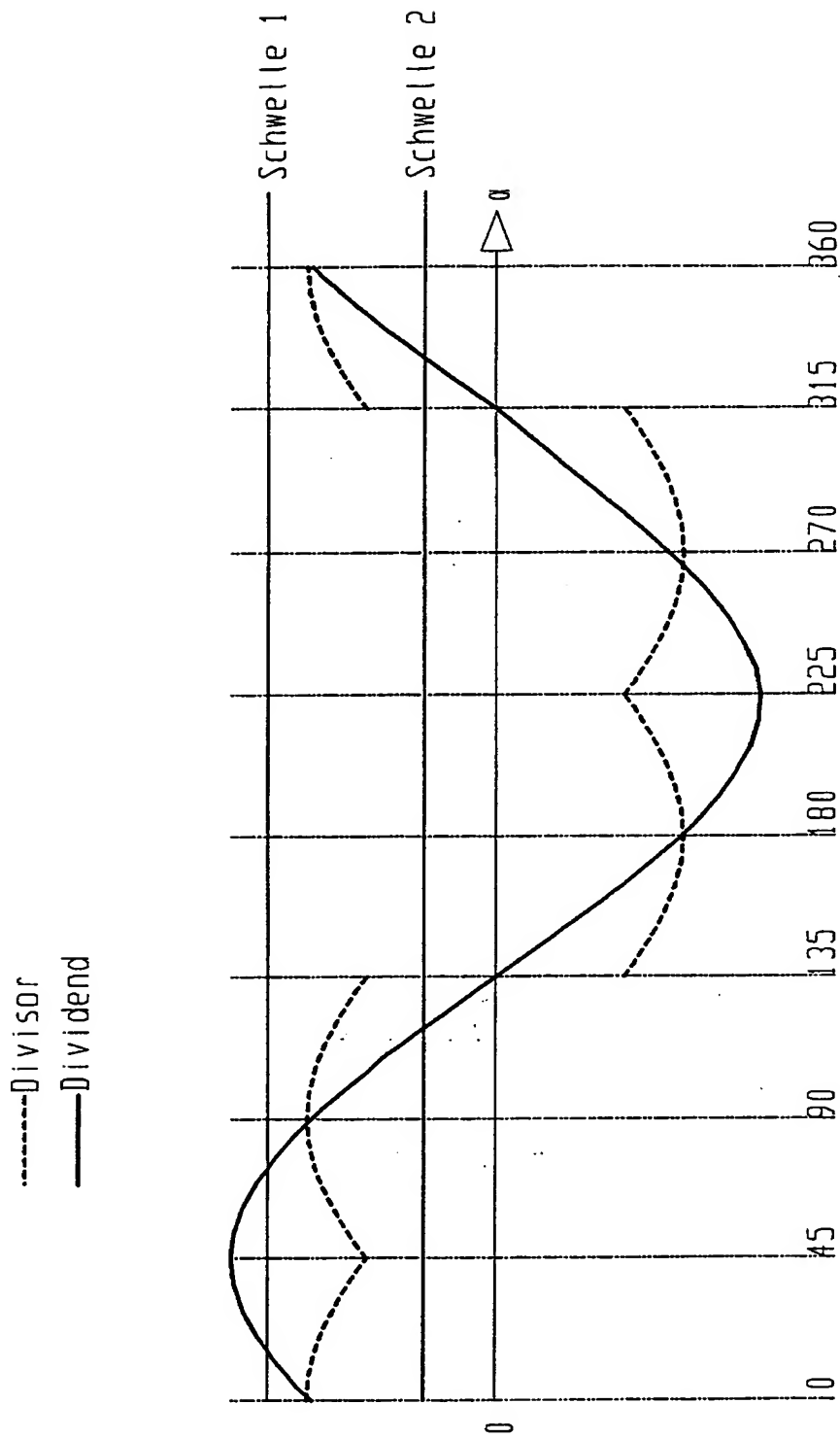


Fig. 2

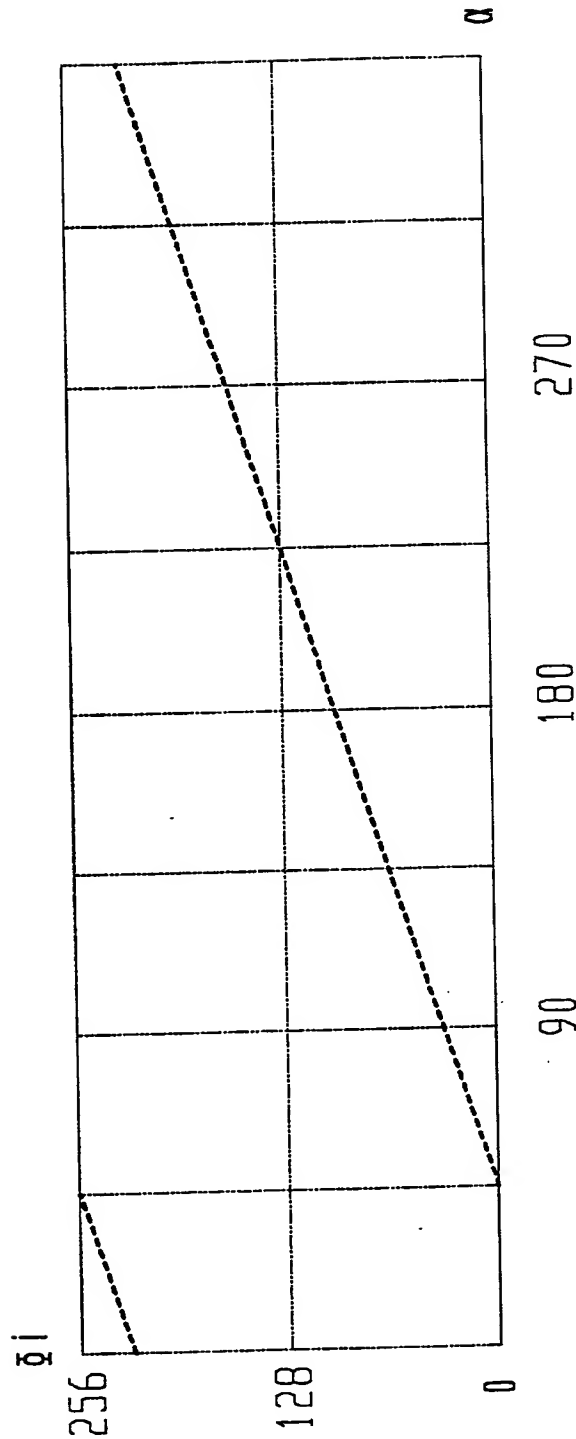
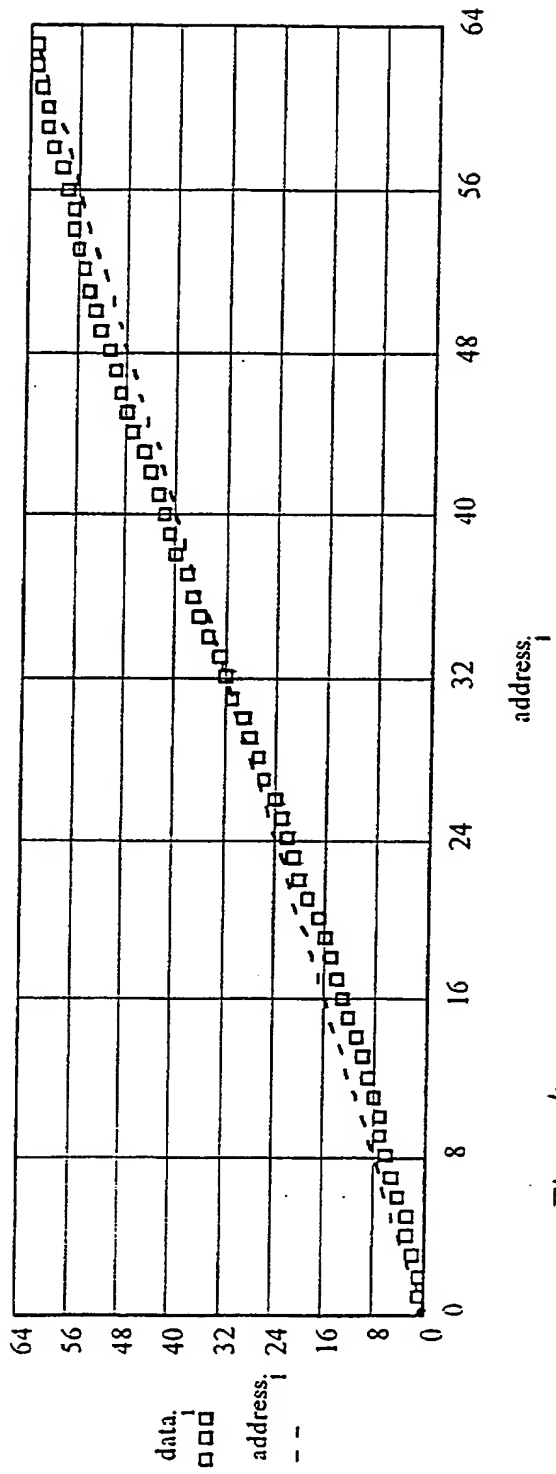


Fig. 3



Figur 4

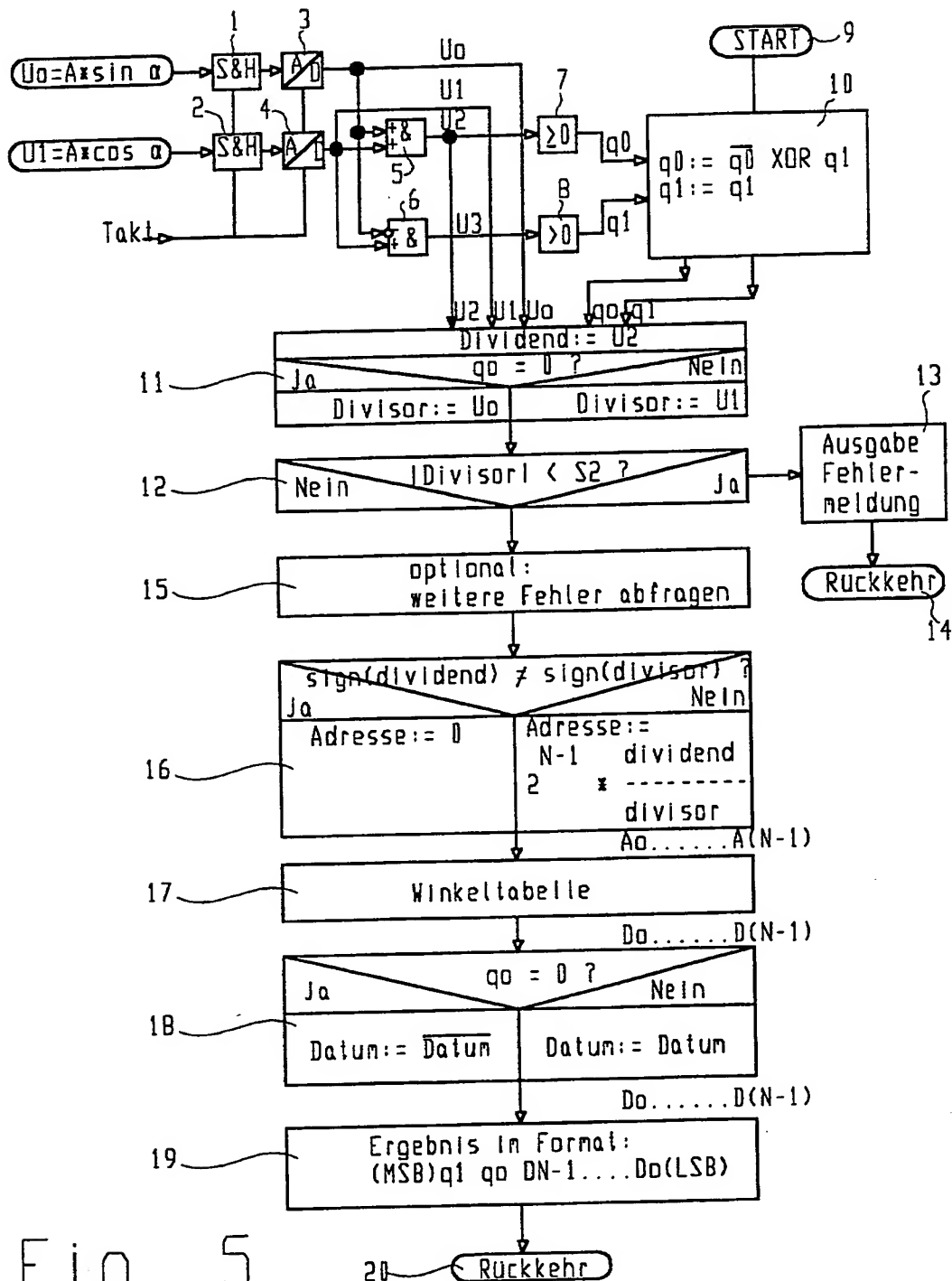


Fig. 5

**Method and apparatus for determining the phase angle in position transmitters with sinusoidal output signals**

Patent Number: US6018318  
Publication date: 2000-01-25  
Inventor(s): SCHOEDLBAUER DIETER (DE)  
Applicant(s): RUF ELECTRONICS GMBH (DE)  
Requested Patent: DE19747753  
Application Number: US19980182694 19981029  
Priority Number(s): DE19971047753 19971029  
IPC Classification: G01J5/04; G01R13/02; G01B7/30  
EC Classification: G01D5/244B, H03M1/64P  
Equivalents: EP0913668, B1, JP2000121387

**Abstract**

The method and apparatus for determining the phase angle in position transmitters with sinusoidal output signals utilizes a sensor that generates a sinusoidal signal  $U_0(\alpha) = A \sin \alpha$  and a cosinusoidal signal  $U_1(\alpha) = A \cos \alpha$ . Linear combinations  $U_2 = U_0 + U_1$  and  $U_3 = U_1 - U_0$  are formed, and the quadrant is determined in a cyclic binary code  $q_1 q_0$  by examining the preceding signs of these signals. Depending on the quadrant, a division  $U_2/U_1$  or  $U_2/U_0$  is carried out. The result of this division serves as the address for inquiring a stored angle table. Initially, the analog track signals  $U_0, U_1$  are converted into digital signals, and all additional calculations are carried out in purely digital fashion. During the integral division, the dividend is one of the linear combinations ( $U_2$ ), and the divisor is, depending on the determined quadrant, either the sinusoidal or the cosinusoidal track signal. In this case, the amount of the divisor always lies within the range above  $2\sqrt{2} + \epsilon$ , rad  $2 + \epsilon$  of the maximum value of the respective track signal.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

DOCKET NO: AR-R14

SERIAL NO: \_\_\_\_\_

APPLICANT: Anton Rodi

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**